DISSERTATIONS-AUSZUG

Ein Biprisma-Interferometer für Elektronenwellen und seine Anwendung

Auszug aus der Inaugural-Dissertation desselben Titels
der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität in Tübingen

vorgelegt von

Max Keller
geboren am 2. August 1926 in Tübingen

Tag der mündlichen Prüfung: 1. Dezember 1960

Dekan: Professor Dr. W. Freiherr v. Engelhardt
1. Berichterstatter: Professor Dr. G. Möllenstedt
2. Berichterstatter: Professor Dr. H. Krüger

Ein Exemplar der vollständigen Dissertation in Maschinenschrift und ein Kleinfilmnegativ und -positiv (Format 24×36 mm) befinden sich in der Universitätsbibliothek in Tübingen. Der Positivfilm kann in der Universitätsbibliothek benutzt werden. Auf Wunsch gibt die Universitätsbibliothek Positivkopien zu dem jeweils gültigen Kostensatz ab.

6806

In dem Biprisma-Interferometer für Elektronenwellen wird zur Aufspaltung eines monochromatischen Elektronenbündels in zwei kohärente Teile das elektronenoptische Biprisma nach G. Möllenstedt und H. Düker [1]) benutzt. Die beiden Teilbündel ergeben bei ihrer Überlagerung ein System paralleler Interferenzstreifen. Dies geschieht in Analogie zu den lichtoptischen Zweistrahl-Interferenzen, die mit einem Fresnelschen Biprisma erzeugt werden.

Schon früher konnte gezeigt werden [2]), daß ein in den Strahlengang eingeführtes geeignetes Phasenobjekt einen Gangunterschied zwischen den beiden Teilbündeln bewirkt, der eine meßbare Verschiebung der Interferenzstreifen zur Folge hat. Weiter hatte sich ergeben, daß stufenförmige Aufdampfschichten, durch Schablonenbedampfung im Vakuum hergestellt, günstige Phasenobjekte darstellen. Form, Dicke und Material der Objekte konnten auf diese Weise für die interferometrische Messung passend gewählt werden.

Der Gangunterschied ist durch die Dicke und den elektronenoptischen Brechungsindex der Objektstufen bestimmt. Aus der gemessenen Streifenverschiebung, der Stufenhöhe und der Elektronenwellenlänge ergibt sich der Brechungsindex und damit auch das innere Potential des Objektmaterials.

In der vorliegenden Dissertation sind die Eigenschaften eines Biprisma-Interferometers und die Herstellung der Phasenobjekte beschrieben. Die inneren Potentiale einer Reihe von aufgedampften Schichten wurden gemessen. Diese Art der Messung des inneren Potentials unterscheidet sich wesentlich von früheren Meßmethoden, welche die Ablenkung von Elektronenbeugungs-Reflexen zur Grundlage hatten [3]).

Der Biprisma-Interferenzversuch erfordert eine außerordentlich feine Elektronenquelle. Diese wurde durch elektronenoptische Verkleinerung einer normalen Glühkathoden-Quelle mittels elektrostatischer Zylinderlinsen erzeugt. Die Methode hat, neben großer Intensität des Interferenzfeldes, den Vorteil einer sehr geringen Objektbelastung. Dies ist wichtig, da ein Einfluß starker Bestrahlung auf das innere Potential zu beobachten war. Die Breite der strichförmigen Elektronensonde betrug für die Inter-

ferometerversuche 170 AE. Wie aus der Kohärenzbedingung $b \sin \vartheta \ll \lambda/2$ hervorgeht, konnten die Teilbündel in einem breiten Bereich zur Interferenz gebracht werden (b = Sondenbreite, ϑ = Aperturwinkel, λ = Elektronenwellenlänge). Die interferometrischen Messungen ließen sich daher an einer großen Anzahl von Interferenzstreifen durchführen. Mit einer verfeinerten Sonde entstand ein Interferenzfeld mit 2000 Streifen. Daraus ergibt sich experimentell eine Kohärenzlänge der verwendeten 40 kV-Elektronen von mindestens 120 AE.

Die Objekte wurden durch Aufdampfen im Hochvakuum hergestellt. Das durch eine netzförmige Schablone erzeugte Stufenmuster der Objekte ergibt im Interferogramm sich abwechselnd wiederholende Systeme von unverschobenen und verschobenen Streifen. Als Träger für die Phasenobjekte eignen sich wegen ihrer guten Leitfähigkeit die nach D. E. Bradley [4]) aufgedampften Kohlenstoff-Folien am besten. Dient Boroxyd als Aufdampfunterlage, so bleiben die Folien auch im Vakuum plan gespannt, so daß die bei gekrümmten Folien auftretende störende Strahlablenkung vermieden wird.

Für interferometrische Messungen ist es wichtig, daß sich zwischen Objektstufen und Trägerfolie eine durchgehende Grundschicht aus dem Stufenmaterial befindet. Ist dies nicht der Fall, so erzeugt die Kontaktspannung zwischen Stufen und Träger eine charakteristische Verbiegung der Interferenzstreifen, welche die Messung der Streifenverschiebung empfindlich stört. Die Abweichung der Streifen von der Geradlinigkeit kann andererseits zum Nachweis von Kontaktspannungen dienen. Dies wird an den Materialpaaren Kupfer-Kohle und Kupfer-Silber demonstriert.

Ist U die Beschleunigungsspannung der Elektronen in Volt, D die Dicke der Objektstufen in AE und s/a das Verhältnis der Interferenzstreifenverschiebung zum Interferenzstreifenabstand, so gilt für das innere Potential Φ, gemessen in Volt,

$$\Phi = \frac{\sqrt{1+\alpha U}}{1+2\alpha U} \; 24{,}52 \; \frac{\sqrt{U}}{D} \; \frac{s}{a} \; .$$

Der erste Faktor der Formel berücksichtigt die relativistische Massenzunahme bei der Berechnung der Elektronenwellenlänge nach der Beziehung von de Broglie. α hat den Wert $e/2\, m_o c^2 = 0{,}9788 \cdot 10^{-6}$ Volt^{-1} (e = Elementarladung, m_o = Ruhmasse des Elektrons, c = Lichtgeschwindigkeit). Die Dicke der Objektstufen wurde lichtoptisch mittels Vielstrahlinterferenzen nach S. Tolansky [5]) bestimmt.

Die interferometrischen Messungen ergaben folgende innere Potentiale: Kohlenstoff, nach Bradley aufgedampft: 7,8 ± 0,6 Volt; Al: 13,0 ± 0,4 Volt; Cu: 23,5 ± 0,6 Volt; Ag: 17 bis 22 Volt (je nach Aufdampfgeschwindigkeit); Au: 22 bis 27 Volt (je nach Aufdampfgeschwindigkeit).

Eine Abhängigkeit der inneren Potentiale von Grundschicht- und Stufendicke der Objekte, Beschleunigungsspannung, Intensität und Dauer der Bestrahlung während des Meßvorganges im Interferometer war nicht festzustellen. Dagegen wurde ein verändertes inneres Potential nach der Bestrahlung mit der 400 mal größeren Intensität bei 5000facher Vergrößerung im Elektronenmikroskop gemessen. Die Untersuchungen an Ag und Au zeigten, daß das innere Potential dieser beiden Stoffe eine Funktion der Aufdampfgeschwindigkeit ist.

Literatur:

1) G. Möllenstedt und H. Düker: Zs. f. Physik 145 (1956) S. 377

2) G. Möllenstedt und M. Keller: Zs. f. Physik 148 (1957) S. 34

3) H. Raether: Handbuch der Physik XXXII, Springer-Verlag 1957, S. 443

4) D. E. Bradley: Brit. J. of appl. Phys. 5 (1954) S. 65

5) S. Tolansky: Multiple Beam Interferometry of Surfaces and Films, Oxford, Clarendon Press 1948